

# 三维可视化安全监测系统研发及应用

韩行进, 周小录, 匡楚丰, 刘贵平, 刘毅

(五凌电力有限公司 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 以湖南托口水电站为例, 采用 BIM 技术构建工程实体三维模型, 并与现有监测系统集成, 研究开发了三维可视化大坝安全监测系统。系统具有模型展示、数据查询、报表输出、拟合分析等功能, 可以全面直观展示坝体结构和相关安全监测信息, 实现了大坝安全监测动态、直观、高效地管理与分析。相关经验可供水利水电及其他工程安全监测系统开发提供借鉴。

**关键词:** BIM; 三维可视化; 大坝安全监控系统

## Development and application of 3D visualization system for dam safety monitoring

HAN Hangjin, ZHOU Xiaolu, KUANG Chufeng

(Wuling Power Corporational Limited Company, Changsha 410004, china)

**Abstract:** Taking Tuokou Hydropower Station as an example, a three-dimensional model of engineering entity by using BIM technology, and integrated with the existing monitoring system, a three-dimensional visual dam safety monitoring system is developed. The system can have the functions of model display, data query, report output, fitting analysis, etc. it can comprehensively and intuitively display dam structure and relevant safety monitoring information, and realize the dynamically, intuitively and efficiently manage and analysis of dam safety monitoring. The relevant experience can be used for reference in the development of safety monitoring system of hydraulic structure and other projects.

**Key words:** BIM technology; three dimensional visualization; dam safety monitoring system

## 1. 前言

水利水电工程建设规模宏大, 地形地质条件各异, 空间结构型式多样, 具有不可复制性和复杂性, 工程的安全运行是涉及社会公众安全、社会稳定和经济发展的重大事件, 对其进行安全监测、预测预警是保证工程安全运行, 降低安全风险, 保障公共安全的重要措施。

20 世纪 60 年代以来, 国内外大坝安全监测技术逐渐由最初离线的、集中处理的单机系统向在线、自动化、实时的分布式方向发展<sup>[1]</sup>。目前大坝安全自动化监测技术已逐渐成熟, 研发了种类繁多的监测仪器, 大大提高了数据采集效率, 同时也产生了海量的安全监测信息<sup>[2]</sup>: 监测仪器安装信息、仪器健康状态, 监测数据等。如何处理海量的监测数据, 提高可视化表达效果, 实现监测数据的高效管理与安全分析成为了亟待解决的问题。

近年来, 随着云计算、大数据、人工智能等众多信息化、数字化、智慧化技术的飞速发展, 结合三维可视化实现监测信息的三维表达是当前趋势, 孟永东<sup>[3]</sup>等结合工程安全监测系统与地质环境, 实现其可视化; 柴启蕾<sup>[4]</sup>等设计了基于 Qt 和 OpenGL 的大坝安全监测可视化系统, 可提升大坝三维模型内外部交互的直观性; He B<sup>[4]</sup>等将三维 GIS 技术应用在小浪底水电站安全监测方面展开了研究; 赵志勇<sup>[5]</sup>等基于 BIM 技术+GIS 技术, 开发了区域数字水库安全管理系统。然

---

作者简介: 韩行进 (1990-), 男, 河北石家庄人, 硕士, 主要从事大坝安全监测、监测智能化系统建

设工作。E-Mail: 674867457@qq.com

而,关于利用 BIM 技术构建工程实体及监测仪器三维可视化模型,并与二维监测系统集成进行大坝三维安全管理等内容鲜有研究。

托口水电站位于湖南省怀化洪江,是沅水规划梯级中的第 5 级,总库容 13.84 亿  $\text{m}^3$ ,电站总装机容量 830MW。托口水电站属于一等大(1)型工程,枢纽建筑物主要由东游祠主坝、王麻溪副坝、引水系统、电站厂房、通航建筑物和河湾地块防渗工程等组成。

## 2.系统功能设计

本研究基于工程实体场景进行建模,设计合理的数据架构并与监测数据动态集成,将模型进行轻量化处理后实现系统在 WEB 端的展示。托口大坝安全监控三维可视化系统由基础层、数据层、支撑层、应用层构成,如图 1 所示。①基础层:为平台提供基础的服务器及网络环境以及其他设备。②数据层:包含工程所有的实体模型,监测设备及监测数据、架构数据。③支撑层:为 BIM 模型平台及现有的安全监测系统及相应的数据流通接口。④应用层:面向安全监测管理人员,在模型上直观展示监测成果,并进行飞行漫游,支持会商决策。

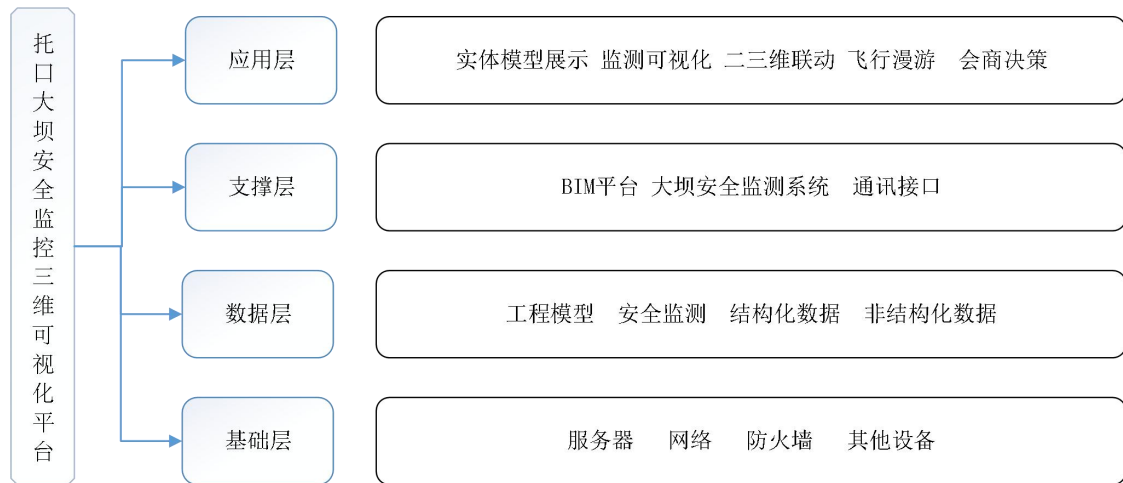


图 1 三维可视化系统结构

## 3 系统实现

### 3.1 构建模型

(1)大坝模型。基于设计图纸与工程实际,利用 Revit 软件构建大坝实体三维模型。首先应用 Revit 族库中已有的基本水工构建模型,可以在项目中直接插入使用,但因水利水电工程具有独立性、特殊性,仍需建立特殊模型构件,定义相应的属性参数,如几何尺寸、材料特性、建设日期等。然后选取在坝顶面上,坝轴线与坝段中心线的交点为空间直角坐标系原点,分别以右坝、上游、坝顶高程以上设定为  $x$ ,  $y$ ,  $z$  轴,建立直角坐标系。最后将各构件在坐标系中进行对接整合,以构建整个大坝的三维可视化模型。本次建模另将三维激光扫描仪获取的点云数据引入模型当中,以填补缺失,更加精准地搭建大坝实体三维模型,实现对大坝模型精细化展示。

(2)地形场景模型。库区地形建模主要包括库区水域、边坡、道路、坝基以及主副坝之间的河湾地块,通过 Loca Space Viewer (LSV) 软件获得较高级别的影像及高程数据,将

影像和数字高程模型载入 Terra Builder 中建立金字塔, 再对数据进行剪裁、校正、羽化等操作。最终生成具有地表起伏的三维地形.mpt 的文件, 形成所需的地形数据库, 构建还原程度高、真实感强的大坝地形场景三维模型。

(3) 监测仪器模型。利用 Revit 软件进行仪器建模并嵌入工程模型中。由于托口水电站水工建筑物监测仪器类别多, 测站、测点个数超过一千个。首先对不同类型的监测仪器构建一个对应的族库, 并按监测仪器类别对相应的族进行分类编号。然后根据工程实际安装位置定义仪器模型种类、坐标等信息。最后, 以监测点的三维空间坐标信息为数据基础, 将监测仪器嵌入到大坝实体三维模型当中, 形成大坝实体与监测仪器的准确结合。

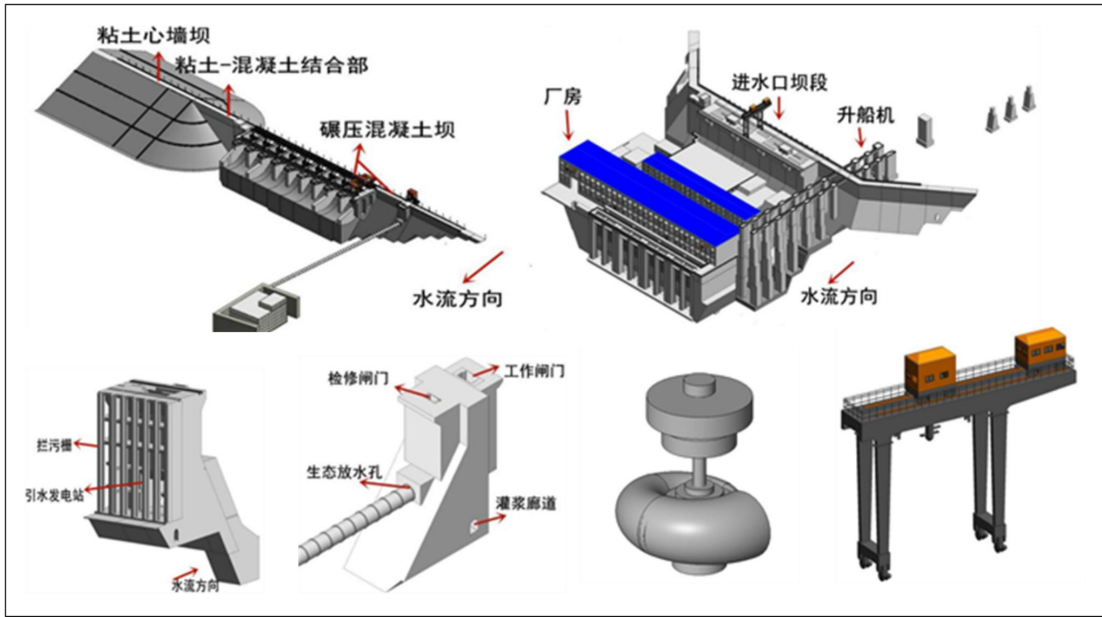


图 2 水工建筑物部分模型

### 3.3 系统集成

系统采用 B/S 架构, 在 Web 中进行浏览、分享以及协作, 利用云端技术实现三维可视化模型的解析、格式转换、轻量化等预处理操作。由于系统良好的可扩展性, 可良好扩展支持第三方特性访问, 将可视化三维 BIM 模型以及其他数据添加至系统当中。

数据库采用 SQL Server 2008 关系型数据库, 通过 Skyline 管理平台集成模型及现有监测系统, 将监测数据链接映射到系统中, 并与模型挂接。根据统一的坐标定位, 将安全监测仪器和观测设施集成准确集成到 BIM 模型中, 包括测点编号、监测类型、传感器类型、埋设位置等。提供 API 接口, 接入现有安全监测系统, 实现监测数据的实时上传同步。

## 4 实例应用

以托口水电站工程为例, 开发了三维可视化大坝安全监测系统, 在系统中可以查看工程全景场景、水工建筑物构造和监测仪器布置情况, 通过浏览器控件可对工程模型进行旋转, 任意面剖切, 打散、测量标注等基本视图操作。点击工程模型可显示构件的基本信息, 结构属性等, 还具备模型的整体漫游功能。通过对模型的轻量化处理, 在浏览器中实现漫游功能, 根据项目需求简单地运用行走、巡视、等功能, 模拟实际项目的任何一个模块, 实时查看大坝结构、监测仪器位置。

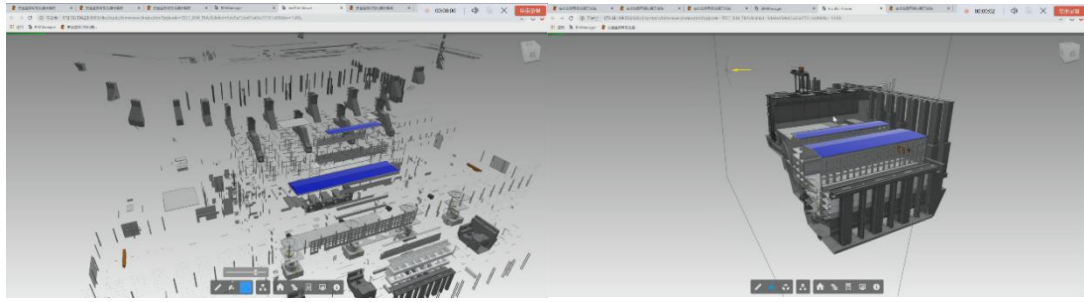


图3 模型打散及剖切显示

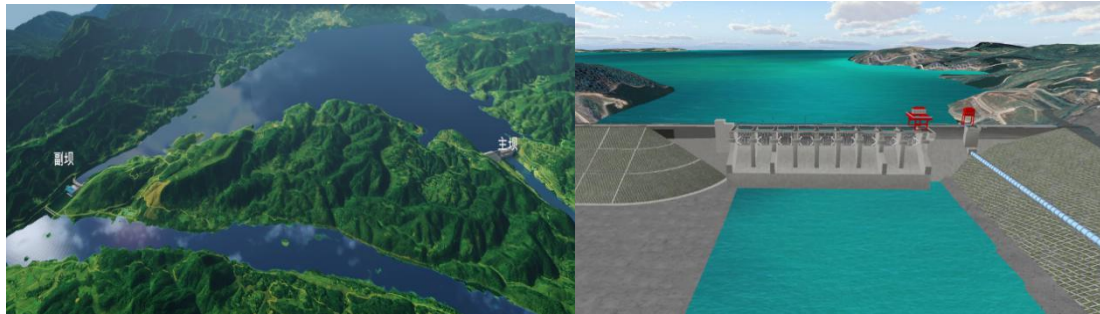


图4 电站整体展示和主坝展示

系统无损集成模型与监测信息，可调动数据库中的监测数据，点击监测仪器模型或通过条件限制进行筛选，可以在三维虚拟场景内对仪器位置进行聚焦，并显示仪器模型、仪器类型，埋设位置，健康状态，实时测值等信息，可通过设置时间区段进行测值过程线绘制，还可进一步支持报表输出等功能，实现三维监测信息可视化管理。通过定性分析，根据系统中各类监控指标的预警值，在平台中进行拟合分析，可实现在模型中展示仪器的埋设空间位置以及实时监测成果，并实现安全监测的可视化分析。



图5 电站整体展示和主坝展示

## 5 结语

水利水电工程复杂，其安全监测项目繁多，运维任务重，每天都会产生大量的安全监测数据，本文研究的系统将水利水电工程安全监测工作从传统的二维转向三维，实现了托口水电站安全监测的三维可视化，进一步提升了安全监测信息可视化的实时性和直观性，为及时掌握大坝安全状态、发现安全隐患提供了重要保障。充分利用有限元理论分析，更加准确地拟合安全状态，并引入 GIS 空间分析技术，实现全流域的地灾预测、水情预报是今后的重要研究方向。

#### 参考文献:

- [1] 柴启蕾.基于可视化技术的水坝安全监测系统设计.柴启蕾[D].长沙:湖南大学.2017
- [2] 基于 BIM 的输水工程安全监测信息集成与可湿滑分析.[J].河海大学学报,2019:4 337-344
- [3] 孟永东,徐卫亚,刘造保,等.复杂岩质高边坡工程安全监测三维可视化分析[J].岩石力学与工程学报, 2010, 29 (12) : 2 500—2 509.
- [4] He B, Yang Z, Man H, et al. The application of 3D GIS technology in Xiaolangdi hydraulic project safety monitoring [C] //International conference on model transformation, New York, 2011.
- [5] 傅蜀燕, 赵志勇, 杨硕文, 等. 基于三维 BIM + WebGIS 技术的区域数字水库构建 [J] . 长江科学院院报, 2018, 35(4):134—136, 142.